

Uso innovador de fungicidas cúpricos en el control de Sigatoka negra y su acumulación en plantaciones de banano

Tomás Alejandro-Ahumada^{1*}; Bertha Callejas-Ruiz¹; Luciano Martínez-Bolaños²; Alberto Margarito García-Munguía; Misael Martínez-Bolaños⁴

^{*1}Investigación y Desarrollo región LATAM norte/México y CAM. Albaugh México. Retorno Alfonso Reyes. Complejo Industrial Chihuahua, Chihuahua, México. ²Especialista en Fitosanidad Tropical. Unidad Regional Universitaria Sursureste. Universidad Autónoma Chapingo. San José Puyacatengo, Teapa, Tabasco, México. ³Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, México. ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Rosario Izapa, km. 18 Carretera Tapachula-Cacahoatán., Tuxtla Chico, Chiapas, México.

***Autor de
Correspondencia:**

Tomás Alejandro-Ahumada
talejandre@albaugh.com.mx

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:
Alejandre-Ahumada T,
Callejas-Ruiz B, Martínez-
Bolaños L, García-Munguía
AM y Martínez-Bolaños M.
2024. Uso innovador de
fungicidas cúpricos en el
control de Sigatoka negra y
su acumulación en
plantaciones de banano.
Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia 1(1):
35
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2435>

RESUMEN

Se realizaron aplicaciones de fungicidas cúpricos en una plantación de banano en Tabasco, México, con el objetivo de generar alternativas para el manejo de la Sigatoka negra y cuantificar su acumulación en hojas y suelo. Se utilizó un diseño experimental BCA, con cuatro repeticiones y 60 plantas por unidad experimental. Se evaluaron seis fungicidas cúpricos contra Sigatoka negra, y un testigo absoluto. Los fungicidas cúpricos presentaron un buen control de la Sigatoka negra en el cultivo del banano, con índices de severidad entre 8.0 y 14.4%, los cuales fueron estadísticamente diferentes al testigo (40.1%). La acumulación del cobre tanto en el follaje como en el suelo, se encontraron en niveles bajos o dentro del rango de suficiencia.

Palabras clave: *Mycosphaerella fijiensis*, Innovación, Tecnología, Sigatoka negra, Fitosanidad.

ABSTRACT

In order to develop an alternative tool to control black Sigatoka and to quantify its accumulation on banana leaves and soil, Copper fungicides were applied in a banana plantation at Teapa, Tabasco, México. The study was carried out under a completely randomized block experimental design. Six treatments were evaluated based on copper fungicides. The fungicides showed a good control of the disease on the banana plantation, with severity rates between 8.0 to 14.4 %, which were statistically different from the untreated control (40.1%). Leaves and soil copper accumulation were in low levels or in the sufficiency range.

Keywords: *Mycosphaerella fijiensis*, Innovation, Technology, black spot Sigatoka, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

La producción del cultivo del banano demanda un manejo integral, en especial, en la atención a la nutrición y problemas fitosanitarios; además debe atender los retos y desafíos que presenta la agricultura mundial. La Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) es la principal enfermedad que afecta el follaje del cultivo de las musáceas en el mundo, por lo que su manejo demanda aplicaciones semanales de fungicidas tanto de acción sistémica como protectante (Martínez-Bolaños *et al.*, 2012); sin embargo, durante los últimos años se ha cuestionado el uso intensivo de estos plaguicidas por su impacto al ambiente y a la salud humana. En ese sentido, se han generado alternativas a base de productos cúpricos con mucha expectativa, con base en lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron determinar la efectividad biológica de fungicidas cúpricos en el control de la Sigatoka negra, y cuantificar su acumulación en el suelo y follaje de plantas de banano variedad Gran Enano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en una plantación comercial de bananos, grupo Cavendish c.v. Enano Gigante, en la finca la Ilusión, en Teapa, Tabasco, México, durante 8 semanas en el mes de agosto a octubre del 2022. Se evaluaron seis fungicidas cúpricos contra Sigatoka negra, y se comparó contra un testigo, bajo un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento (Cuadro 1). La unidad experimental fue una parcela de 10 m x 25 m, con 60 plantas. El estudio inició en plantas jóvenes de 1.0 a 1.1 m de altura, en donde se aplicaron los tratamientos al follaje de manera semanal, con una bomba aspersora motorizada marca Forza 818025 25 L 1HP de dos tiempos. La evaluación de la intensidad de la enfermedad se realizó cada 7 días durante ocho semanas continuas.

La severidad de la Sigatoka negra se evaluó con base a la escala propuesta por Stover modificada por Gahul (1994) donde: 0 = 0 % sin síntoma; 1 = < 1% rayas y/ o hasta 10 manchas; 2 = 1 – 5 % área foliar atacada; 3 = 6 – 15 %; 4 = 16 – 33 %; 5 = 34 – 50 %; 6 = > 50 %. El análisis de la severidad de la enfermedad se realizó con la transformación a porcentaje de infección y se usó la fórmula de Townsend y Heuberger. $P = [\Sigma(nv)/N*V]100$. Donde: P = Media ponderada de severidad; n = número de hojas en cada categoría; v = valor numérico de cada categoría; N = número total de hojas en la muestra; y V = valor de la categoría máxima.

Cuadro 1. Tratamientos asperjados en plantas de banano para el control de la Sigatoka negra.

Tratamiento	Tratamiento	Dosis
Novel COPper 6/ICC	Novel COPper 6/ICC	1.0 L/ha
NC 5/HIBIO P	Novel COPper 5/HIBIO penta	1.0 L/ha
Cloruro de calcio trifásico de cobre	Dartañan SC	1.25 L/ha
Hidróxido cúprico	Copérnico SC	1.25 L/ha
Sulfato de cobre pentahidratado	Mastercop	1.0 L/ha
Gluconato de cobre	Umbral	1.2 L/ha
Testigo Abs.	Testigo Absoluto	Testigo Absoluto

La eficacia biológica (EB) de los tratamientos se calculó con la ecuación de Abbott: $EB (\%) = [(A - B)/A]100$. Donde: A = % de infección en la parcela testigo después de haber aplicado en las demás unidades experimentales. B = % de infección en la parcela tratada después de la aplicación del fungicida. Los resultados se sometieron a análisis de varianza para determinar la diferencias entre tratamientos (ANOVA, $\alpha=0.05$) y una prueba de comparación múltiple de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$).

El estudio de la acumulación de cobre, en el follaje y el suelo, se realizó después de ocho aplicaciones. El muestreo foliar se realizó en 4 plantas por tratamiento; para ello se tomó una muestra de la parte media de la hoja (10 cm de ancho) desde la hoja dos hasta la nueve. El muestreo del suelo se realizó entre las plantas de banano tratadas, y se tomaron 200 g de la primera capa de suelo (5 cm). En cada tratamiento se tomaron cuatro muestras. El análisis del contenido de cobre se realizó en los laboratorios de la empresa GISENA S.A. de C.V. La determinación de nutrientes en las muestras, se realizó por espectrometría de emisión atómica de plasma de acoplamiento indirecto inductivo (ICP-OES).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del estudio realizado en el cultivo de banano en el estado de Tabasco, México, durante la época de mayor presión de la enfermedad, indican que la aplicación de los fungicidas cúpricos presentaron un control de la severidad Sigatoka negra. Estos índices estuvieron directamente relacionados con el tiempo posterior a la aplicación de los tratamientos, la edad de la plantación, el tipo de fungicida aplicado, y las condiciones climáticas acumuladas durante el desarrollo del estudio. Los fungicidas cúpricos presentaron, durante 8 semanas de estudio (56 días), un control de la Sigatoka negra en el cultivo del banano, con índices de severidad entre 8.0 y 14.4%, mientras que el testigo presentó cerca del 40.1% (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de tratamientos en la Severidad de la Sigatoka negra en el cultivo de banano grupo Cavendish cv Enano Gigante en Teapa, Tabasco, México. 2022.

Fungicida	Dosis (L ha ⁻¹)	Severidad de la Sigatoka negra (%)								
		0dd a	7dd a	14 dda	21dda	28dd a	35dda	42dd a	49dda	56dda
Novel COPper 6/ICC	1.0	2.1 a	6.7 a	5.7 c	7.0 c	6.5 c	6.2 c	5.9 c	6.9 c	9.6 c
NC 5/HIBIO P	1.0	4.3 a	6.7 a	7.5 b	8.5 b	8.0 bc	6.7 c	6.9 c	7.4 c	9.7 c
Cloruro de calcio trifásico de cobre	1.25	7.0 a	6.2 a	6.8 b	9.2 b	7.8 bc	8.7 b	8.6 b	9.4 b	12.1 bc
Hidróxido cúprico	1.25	5.5 a	6.5 a	7.5 b	8.9 b	7.5 bc	7.7 bc	8.8 b	6.8 c	9.4 c
Sulfato de cobre pentahidratado	1.0	4.7 a	6.6. a	7.7 b	9.1 b	9.0 b	9.1 b	8.7 b	10.6 b	13.9 b
Gluconato de cobre	1.2	6.1 a	6.7 a	8.0 b	8.7 b	8.7 b	11.2 b	8.9 b	10.3 b	14.4 b
Testigo Abs.	0	4.4 a	7.2 a	12.0 a	15.5 a	18.5 a	22.3 a	25.3 a	32.6 a	40.1 a

* Valores con letras diferente en cada columna presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). Dda. Días después de la aplicación.

Análisis de Efectividad Biológica en el control de la Sigatoka negra. La efectividad biológica de los tratamientos para el control de la Sigatoka negra en el cultivo del banano, presentó un valor diferenciado a través del tiempo, el cual estuvo directamente relacionado con el tipo de producto aplicado. Los mayores índices efectividad biológica de los fungicidas, próximos al 70%, se presentaron a partir de los 42 días de la aplicación de los tratamientos, en especial con los fungicidas a base de hidróxido cúprico y el cloruro trifásico de cobre (Cuadro 3).

El estudio se realizó en la época de mayor presión de la enfermedad, con precipitaciones acumuladas semanales desde 43.18 hasta 287.02 mm; y una acumulación de lluvia de 1172 mm durante el periodo de estudio. Respecto, al análisis de fitotoxicidad de los tratamientos, no se observaron efectos de daños en el follaje de las plantas de banano durante el periodo de estudio y bajos las condiciones ambientales (precipitación) y cantidad de aplicaciones realizadas.

Cuadro 3. Efecto de tratamientos en la Severidad de la Sigatoka negra en el cultivo de banano grupo Cavendish cv Enano Gigante en Teapa, Tabasco, México. 2022.

Tratamiento	Dosis	Efectividad Biológica (%)							
		7dda	14 dda	21dda	28dda	35dda	42dda	49dda	56dda
Novel COPper 6/ICC	1.0	6.4 a	51.2 a	54.4 a	64.2 ab	72.0 a	76.7 ab	78.7 a	75.9 ab
NC 5/HIBIO P	1.0	6.4 a	36.0 c	44.6 bc	56.7 cde	69.8 ab	72.6 b	77.2 a	75.7 ab
Cloruro de calcio trifásico de cobre	1.25	13.8 a	42.5 abc	40.2 cd	57.7 cd	60.9 cde	66.0 c	71.2 b	69.7 c
Hidróxido cúprico	1.25	9.7 a	37.5 bc	42.2 c	58.9 bc	65.6 bc	65.3 c	79.2 a	76.6 a
Sulfato de cobre pentahidratado	1.0	7.2 a	35.4 c	41.2 cd	51.3 de	59.1 de	65.5 c	67.3 b	65.2 d
Gluconato de cobre	1.2	6.2 a	33.3 c	43.5 c	52.7 cde	49.7 fg	64.7 c	68.3 b	64.1 de

*Valores con letras diferente en cada columna presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). Dda. Días después de la aplicación.

El análisis químico foliar mostró que la mayor parte de tejidos presentaron niveles bajos de cobre o dentro del rango de suficiencia de este microelemento en el follaje después de 8 aplicaciones. Estos niveles detectados se encuentran por abajo del límite permitido en el cultivo de banano; sin embargo, los tejidos foliares tratados el sulfato de cobre pentahidratado mostró una concentración significativa de este microelemento (37.3 mg kg^{-1}); mientras que las aplicaciones de Cloruro de calcio trifásico de cobre e Hidróxido cúprico a dosis de 1.0 y 1.25 L ha^{-1} , presentaron 12.8 y $13.8 \text{ mg de cobre kg}^{-1}$ (Cuadro 3).

El cobre es un elemento esencial para la nutrición de las plantas, ya que es necesario para la constitución de enzimas catalizadoras de reacciones redox, y está involucrado en las funciones de fotosíntesis, por lo cual es muy importante su absorción, asimilación, traslocación, y movilización, tanto por el follaje como por el sistema radicular (Chiou and Hsu, 2019; Moreira *et al.*, 2022). En exceso, el cobre es fitotóxico ya que induce niveles altos de especies de oxígeno reactivo (ROS) y afecta la fotosíntesis, los cuales subsecuentemente reducen el rendimiento y calidad de los cultivos (Adrees *et al.*, 2015; Chiou and Hsu, 2019). Deo and Nayak (2021) indican que concentraciones superiores a 100 micromoles son tóxicas para las hojas del cultivo de banano.

Los análisis químicos de suelos muestran una acumulación entre 2.0 y 3.7 mg kg^{-1} en los primeros 5 cm de la capa de suelo. Esta acumulación se presentó después de ocho aplicaciones foliares de diferentes tratamientos para el control de la Sigatoka negra del banano, tanto en dosis como en tipo de fungicida; sin embargo, estos valores son mínimos a los reportados por Senkondo *et al.* (2014), en suelos contaminados en Tanzania, con niveles de cobre entre 85 y 415 mg kg^{-1} . El estudio y análisis de cobre realizado en los primeros 5 cm de profundidad del suelo, se sustenta a la baja movilidad de este elemento en el suelo; además el cultivo del banano desarrolla su sistema radicular en los primeros 10 cm de profundidad, por lo que cualquier efecto fitotóxico o absorción excesiva de este elemento se puede presentar en ese sentido. Así cantidades pequeñas de cobre pueden ser lixiviadas o lavadas constantemente hacia estratos inferiores del suelo.

Cuadro 3. Acumulación de cobre en follaje y suelo, por la aplicación de fungicidas cúpricos en plantas de banano grupo Cavendish cv Enano Gigante en Teapa, Tabasco, México. 2022.

TMT	Número de Hoja / Acumulación de cobre en el tejido foliar (mg kg ⁻¹)								Acumulación de cobre en el suelo (mg kg ⁻¹)
	2	3	4	5	6	7	8	9	
Novel COPper 6/ICC	16.7 a	11.2 b	13.4	12.8 a	18.2 a	16.1 a	18.0 a	20.1 a	2.0 b
NC 5/HIBIO P	14.2 a	14.8 ab	17.3 ab	14.6 a	20.4 a	18.0 a	15.4 a	13.5 a	2.6 ab
Cloruro de calcio trifásico de cobre	15.8 a	16.2 ab	14.0 b	15.8 a	12.9 a	16.2 a	21.3 a	12.8 a	3.5 ab
Hidróxido cúprico	14.5 a	19.8 a	22.5 a	14.5 a	17.0 a	15.9 a	19.7 a	13.8 a	2.9 ab
Sulfato de cobre pentahidratado	13.3 a	12.9 b	15.8 ab	13.5 a	18.2 a	21.5 a	19.8 a	37.3 a	2.4 ab
Gluconato de cobre	12.4 a	13.5 b	13.2 b	15.7 a	13.4 a	30.2 a	17.8 a	18.7 a	3.7 a
Testigo	19.4 a	13.9 ab	11.9 b	15.9 a	13.3 a	14.4 a	12.2 a	10.6 a	2.4 ab

* Valores con letras diferente en cada columna presentan diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05). Nota: Rango de suficiencia de cobre en el follaje: 6 - 25 mg kg⁻¹.

CONCLUSIONES

Los fungicidas cúpricos presentaron un buen control de la Sigatoka negra en el cultivo de banano durante el período de estudio, con índices de severidad de la enfermedad entre 8 y 14 %.

Las dosis de los productos a base de cobre aplicados para el control de Sigatoka negra, en períodos con alta precipitación, no causaron toxicidad en el cultivo de banano; sin embargo, deben desarrollarse otros estudios para el período con bajo nivel de precipitación y medir su impacto en el cultivo.

Los fungicidas cúpricos después de ocho aplicaciones foliares, no presentaron acumulaciones significativas de cobre, tanto en el follaje como en el suelo del cultivo de banano, a excepción del sulfato de cobre pentahidratado.

REFERENCIAS

1. Adrees, M., Ali S., Rizan M., Ibrahim M., Abbas F., Farid M., Zia-ur-Rehman M., Irshad MK., and Bharwana SA. 2015. The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: A review. *Environment Science Pollution Research* 22:8148-8164.
2. Chiou WY and Hsu FC. 2019. Copper toxicity and prediction models of Cooper content in leafy vegetables. *Sustainability* 11(6215):1-18. doi:10.3390/su11226215
3. Deo B and Nayak PK. 2021. Investigating the copper phytotoxicity on *in vitro* culture of *Musa acuminada* cv. Bantala. *Cutting-edge Research in Agricultural Sciences* 13:16-23. <https://doi.org/10.9734/bpi/cras/v13/3015D>.
4. Martínez B. L., Teliz O. D., Rodríguez M. J.C., Mora A. J.A., Nieto Á. D., Cortés F. J. I., Mejía S. D., Nava D. C., Silva A. G. 2012. Resistencia a fungicidas en poblaciones de *Mycosphaerella fijiensis* del Sureste mexicano. *Agrociencia* 46:707-717
5. Senkondo YH, Tack FMG and Semi E. 2014. Copper accumulations in soils, coffee, banana, and bean plants following copper-based fungicides in coffee farms in Arusha and Kilimanjaro regions, Tanzania. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 15(45): 2032-2045. <https://doi.org/10.1080/00103624.2014.919312>
6. Stover, R. H. 1974. Effect of measured levels of Sigatoka disease of bananas on fruit quality and leaf senescence. *Tropical Agriculture* 51: 531-542.